I

발전

우리 생활에서 사용하고 있는 에너지 중에 중요한 위치를 차지하고 있는 전기 에너지는 최근 급속한 고도 산업 성장과 생활 수준의 향상으로 그 수요가 급속히 증가하고 있다. 또한 첨단 산업 설비에서 가전 기기까지 고품질의 전기가 요구되고 있다.

이러한 전기 에너지를 만들어 내는 방법에는 물이 가지고 있는 위치 에너지와 화석 연료, 우라늄 핵분열의 열을 이용하는 방법, 태양, 바람, 해양 에너지 등 신 · 재생 에너지를 이용하는 방법 등이 있다.

양질의 전기 공급을 위하여 발전 설비가 대용량화, 고성능화되고 있으며, 그 운영 기술도 첨단화되고 있다.

여기에서는 이러한 양질의 전기를 생산하는 발전을 4개의 영역으로 구분하여 설명한다.

수력 발전

학습 목표 |

1. 수력 발전의 종류에 대하여 설명할 수 있다.
2. 수력 발전소의 설비에 대하여 설명할 수 있다.
3. 수력 자원과 관련한 법칙에 대하여 설명할 수 있다.
4. 수력 발전소의 출력에 대하여 설명할 수 있다.

1 수력 발전의 개요

수력 발전은 하천이나 호수 등으로부터 물이 가지고 있는 위치 에너지를 수차를 이용하여 기계적 에너지로 변화시키고, 그 기계적 에너지를 수차와 직결된 발전기를 돌려 전기 에너지로 변환해 전기를 얻는 방법이다. 수력 발전은 크게 일반 수력 발전과 양수 발전으로 나뉜다. 수력 발전의 에너지원인 물은 태양열에 의해서 증발되어 비나 눈으로 다시 지상으로 돌아오는 자연 순환 과정을 거치기 때문에 환경 친화적이다.

수력 발전의 특징은 발전의 기동, 정지가 쉽고 물을 가둬 둠으로써 에너지 저장의 기능을 갖고 있다는 것이다. 그러므로 첨두부하 등의 전력 수요 변화에 효율적으로 대응하여 전력을 공급할 수 있다.

1. 수력 발전의 종류

수력 발전은 일반 수력, 소수력, 양수 발전으로 구분할 수 있다. 그림 Ⅰ-1은 수력 발전의 예로, 취수탑으로 유입된 물이 관로를 통해 수차를 회전시켜 전기를 생산한다.

(1) 일반 수력 발전

하천이나 계곡을 막아 그곳에 모인 물의 위치 에너지를 이용하는 발전으로 우리나라에서는 보통 시설 용량이 10〔MW〕 이상이다.

(2) 소수력 발전

시설 용량이 10〔MW〕 이하의 소규모 수력 발전으로서 민간이 개발할 수 있도록 개방되어 있다.

(3) 양수 발전

상부 저수지와 하부 저수지를 만들어 필요 시 상부 저수지의 물을 이용하여 발전하

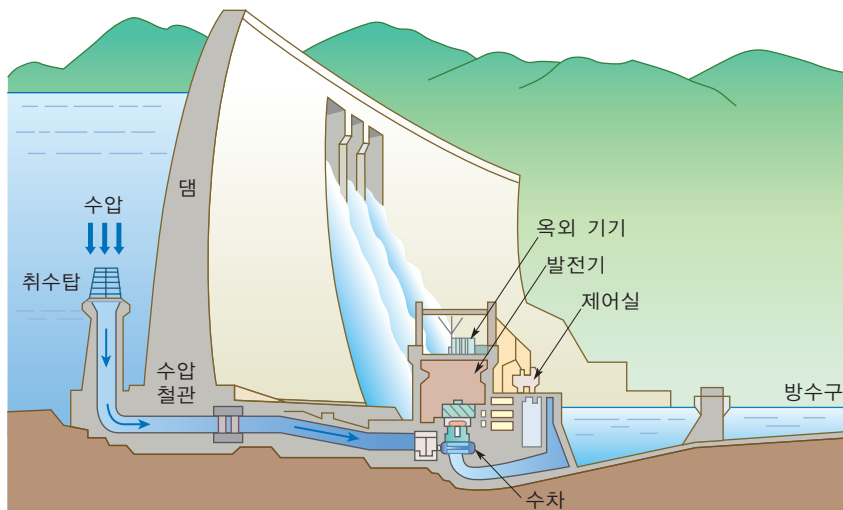



그림 Ⅰ-1 수력 발전의 개요

고 사용한 물은 하부 저수지에 모아 두었다가 남은 전기를 이용하여 다시 상부 저수지로 퍼 올려서 저장하는 방식이다.

2. 수력 발전소의 분류

수력 발전소는 낙차의 크기, 취수 방식, 유량 사용 방식에 따라 각각 표 Ⅰ-1, Ⅰ-2, Ⅰ-3과 같이 구분할 수 있다. 그림 Ⅰ-2는 취수 방식에 따른 발전소의 분류를 보인 것이다.

표 Ⅰ-1 낙차의 크기에 따른 수력 발전소의 종류와 특징

종류	특징
초저낙차 발전소	낙차 20〔m〕 이하의 규모로 하천의 하류 지역에 적합하다.
저낙차 발전소	낙차 35〔m〕 이하의 규모로 하천의 중·하류 지역에 건설된다.
중낙차 발전소	낙차 35～250〔m〕 범위의 규모로 하천의 중·상류에 건설된다.
고낙차 발전소	낙차 250〔m〕 이상의 규모로 하천의 상류에서 댐과 수로를 이용한다.

표 Ⅰ-2 취수 방식에 따른 수력 발전소의 종류와 특징

종류	특징
수로식 발전소	하천의 상류 물을 취수 댐으로부터 수로를 통해 수차에 유입해 낙차를 얻어 발전하는 방식
댐식 발전소	하천의 중·하류 지역에서 낙차를 얻기 위해 하천을 가로질러 댐을 막아 낙차를 얻어 발전하는 방식
댐 수로식 발전소	댐식과 수로식의 기능을 섞은 것으로 댐으로부터 수로를 통해 낙차가 큰 지점까지 물을 이끌어 내 발전하는 방식
유역 변경식 발전소	댐 수로식과 같은 시설로 이루어지며 발전소를 다른 하천 유역에 지어 큰 낙차를 얻어 발전하는 방식

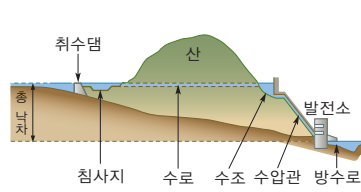
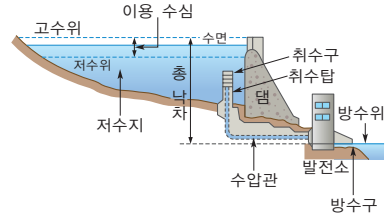
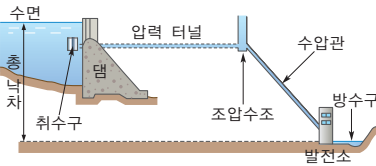
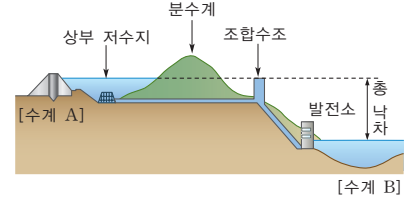



그림 Ⅰ-2 취수 방식에 따른 수력 발전소의 종류

표 Ⅰ-3 유량 사용 방식에 따른 수력 발전소의 종류와 특징

종류	특징
자류식 발전소	하천의 자연 유량을 그대로 발전에 이용하는 방식
저수지식 발전소	댐식 발전소 또는 댐 수로식 발전소가 여기에 해당하며, 다목적 댐식 발전소라고도 함.
조정지식 발전소	큰 취수 댐을 설치하거나 수로 도중에 조정지를 설치해 자연 유량이 적거나 발전소의 사용 수량이 모자랄 때 또는 부하가 많을 때 저수된 물을 이용해 발전하는 방식
양수식 발전소	심야나 휴일의 남은 전력을 이용해 펌프로 하부 저수지에 있는 물을 상부 저수지로 퍼올려 저장했다가 필요할 때 이것을 이용해 발전하는 방식

3. 수력 자원

(1) 물의 에너지

일반적으로 물은 압축이 불가능하며 점성을 가지고 있다. 점성도 없고 압축할 수도 없는 유체를 이상적 유체라 한다. 순수한 물은 4〔℃〕에서 최대 밀도를 가지며 1〔m^3〕의 물 무게는 1000〔kg〕이다.

물이 가지는 에너지는 위치, 압력, 속도의 세 종류가 있다. 그림 Ⅰ-3은 위치 수두, 압력 수두, 속도 수두를 각각 나타낸 것이다.

1) 위치 에너지

그림 Ⅰ-3 (a)와 같이 단위 부피당 질량 ω〔kg/m^3〕의 물이 어떤 기준면에 대하여 h〔m〕의 높이에 있을 때 $\omega \times h$에 비례하는 일〔J〕을 할 수 있다. 이와 같이 위치 에너지

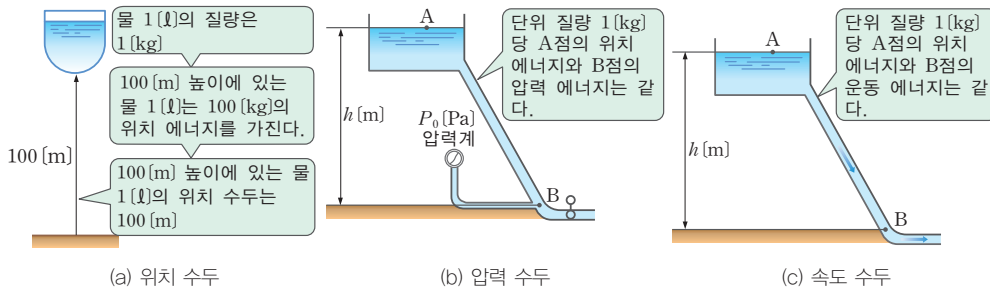



그림 Ⅰ-3 물의 에너지 형태

를 물의 높이 h〔m〕로 나타내는 것을 위치 수두라 하고, h〔m〕의 위치 에너지를 가지고 있다고 한다.

2) 압력 에너지

그림 Ⅰ-3 (b)와 같이 수면에서 높이 h〔m〕의 깊이에 있는 수조 밑면의 단위 면적당 질량이 P_0〔kg/m^2〕일 때 물의 깊이 h〔m〕인 곳의 압력은 P_0〔Pa〕이다. 이때 $h = P_0/\omega$〔m〕를 압력 수두라 한다. 여기서 ω〔kg/m^3〕는 단위 부피당 물의 질량이다.

3) 속도 에너지

그림 Ⅰ-3 (c)와 같이 높이 h〔m〕의 위치에 있는 수조에서 흘러 나가는 물의 속도를 v〔m/s〕라 하면 수면에서 질량 m〔kg〕의 물의 위치 에너지 mgh〔J〕과 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$〔J〕은 같다.

그러므로 $h = \frac{v^2}{2g}$〔m〕가 되며, 높이 h〔m〕로 단위 무게의 물의 운동 에너지를 나타낼 때 h〔m〕를 속도 수두라 한다. 여기서 g는 중력가속도(9.8〔m/s^2〕)이다.

4) 베르누이의 정리

베르누이의 정리는 그림 Ⅰ-4와 같이 물의 흐름에 적용되는 에너지 불변 법칙의 하나이다. 액체가 점성과 탄성이 없고 외력으로는 중력만 작용하고 시간적으로 변화 없이 흐를 때 이를 완전 유체라 한다. 이러한 유체는 일련의 유선에서 운동 에너지, 위치 에너지, 압력 에너지의 총합이 일정하다. 이를 베르누이의 정리(Bernoulli's theorem)라 한다.

$\frac{v^2}{2g}$ = 속도 수두〔m〕, $\frac{P}{\omega}$ = 압력 수두〔m〕, h = 위치 수두〔m〕

따라서, 베르누이의 정리를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{v^2}{2g}+\frac{P}{\omega}+h=H(\text{일정}) \quad \cdots\cdots (\text{I}-1)$$

〔속도 수두＋압력 수두＋위치 수두＝일정〕

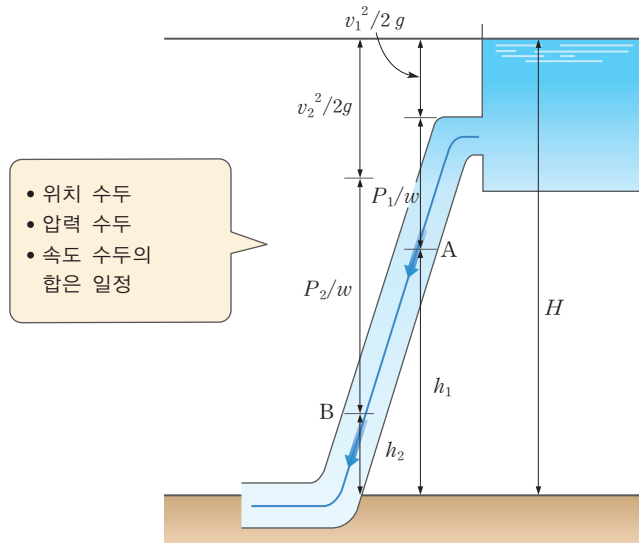



그림 I-4 베르누이의 정리

(2) 하천 유량과 낙차

1) 하천 유량과 유량 곡선

㉮ **강수량과 유량** : 수자원은 하천, 호수, 지하 등에 다양하게 분포되어 있다. 하천으로 흐르는 물은 지하수, 농경지, 증발 등으로 인하여 전체 강수량의 65~75〔%〕 정도이며, 수력 발전에 사용되는 수자원은 거의 이 유량에 의존한다.

㉯ **유량의 크기 구분** : 유량의 크기는 1년(365일) 동안 매일 측정한 하천의 수량(수위) 자료를 기준으로 최대 갈수량, 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 고수량, 홍수량, 최대 홍수량 및 연평균 유량 등으로 구분한다.

㉰ **유량도** : 유량도는 가로축을 날짜 순서로, 세로축을 유량의 크기로 하여 하천에 보이는 유량을 날짜 순서에 따라 나타낸 것이다.

㉱ **유량 곡선** : 유량도를 기준으로 하여 그래프의 가로축에 매일 발생된 유량을, 세로축에는 유량의 크기 순서에 따라 큰 것부터 기록하면 유량 곡선을 얻을 수 있다. 유량도는 단순히 계절적인 유량 변화를 나타내지만, 유량 곡선은 연중 유량의 시간적 상황을 한눈에 파악할 수 있도록 한 것이다.

㉲ **적산 유량 곡선** : 매일 사용 수량을 적산하여 가로축을 일수로, 세로축을 유량으

로 하여 적산 유량을 나타내면 적산 유량 곡선을 얻을 수 있다. 이를 통해 저수지의 연중 최고 수위와 최저 수위를 알 수 있다. 또, 세로축에 저수 총량을 나타내면 최저 수위와 최고 수위 사이의 양이 저수 용량이 되어 저수지 규모를 결정할 수 있다.

2) 유량 측정

하천의 유량 Q[m³/s]는 유로의 단면적 S[m²]와 그 단면에 대한 직각 방향의 유속 v[m/s]의 곱, 즉 $Q=Sv$[m³/s]로 나타낼 수 있으며, 유량을 알기 위해서는 단면적과 유속을 측정하여야 한다.

단면적은 실제 측량에 의해 구해지므로 유량 측정에서는 유속 측정이 가장 중요하다. 유량의 측정법에는 유속계법, 부자법, 염수 속도법, 깁슨법, 피토관법 등이 있다.

3) 낙차

수력 발전소의 발생 전력을 결정하는 중요한 요소는 낙차와 유량이다. 유량은 하류로 갈수록 증가하나 낙차를 얻기가 어려워 평지 등에 흐르는 하천은 발전에 이용하기 어렵다.

취수구 수위와 방수구 수위의 차를 총 낙차라 하고, 총 낙차에서 각종 손실 낙차를 제외한 것을 유효 낙차라 한다.

손실 낙차에는 취수구 손실, 수로 손실, 수로 구조물에 의한 손실 등이 있다. 그림 Ⅰ-5는 낙차와 손실 수두를 보인 것이다.

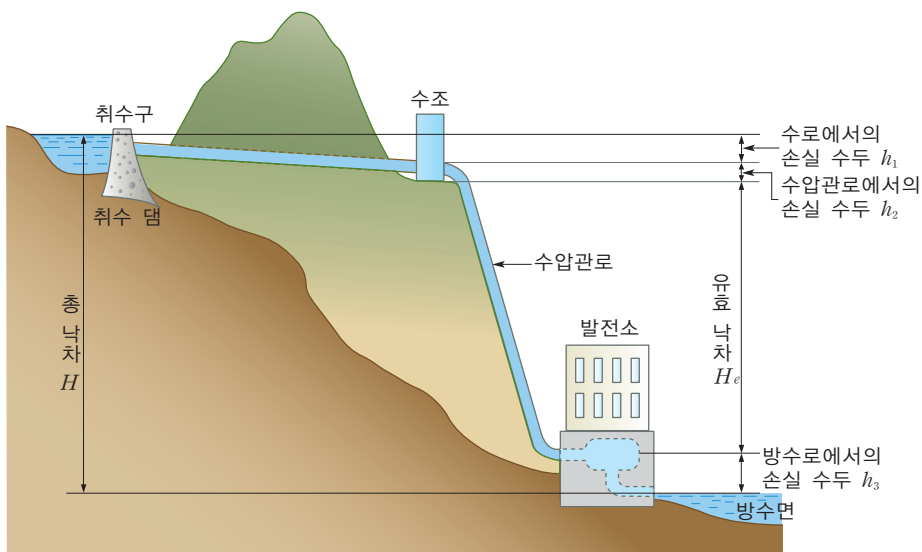



그림 Ⅰ-5 낙차와 손실 수두

(3) 수력 발전소의 출력

수력 발전소의 출력은 유량과 낙차에 의해 결정된다. 그러나 실제 사용할 수 있는 낙차는 총 낙차 H에서 수로, 수압관로, 방수로에서 생기는 손실$(h_1+h_2+h_3)$을 뺀 유효 낙차 H_e〔m〕로서, 유량 Q〔m³/s〕의 물이 흐를 때 단위 시간당 일량은 다음과 같다.

$$P=1000QH_e\,[\mathrm{kg\cdot m/s}] \quad \cdots\cdots (\mathrm{I}-2)$$

여기에 중력가속도 g(9.8〔m/s²〕)가 작용하고, 1000〔W〕=1〔kW〕이므로

$$P=\frac{1000QH_e\times 9.8}{1000}=9.8QH_e\,[\mathrm{kW}] \quad \cdots\cdots (\mathrm{I}-3)$$

여기서 P를 이론 출력이라 하고, 수차는 이 이론 출력으로 회전하여 발전기를 회전시켜 전력을 발생한다.

그러나 실제 발전소 출력 P_0는 수차의 효율 η_t, 발전기 효율 η_g가 고려된 것으로 다음 식으로 나타낸다.

$$P_0=9.8QH_e\eta_t\eta_g\,[\mathrm{kW}] \quad \cdots\cdots (\mathrm{I}-4)$$

일반적으로 수차와 발전기의 종합 효율은 70∼85〔%〕이나 대형 수차, 발전기의 경우에는 90〔%〕 이상도 있다.

탐 | 구 | 활 | 동

베르누이의 정리에 대하여 알아보자.

2 수력 설비

1. 댐과 부속 설비

(1) 댐

일반적으로 유수의 저수나 취수를 위하여 하천을 막는 구조물을 댐(dam)이라 한다. 댐은 보통 저수를 목적으로 하는 저수 댐을 말하며, 단순히 수로식 발전소를 위해

서 낮게 건설한 댐을 취수 댐이라 한다. 또한 다목적 댐은 저수된 물을 발전에 사용할 뿐만 아니라 농업용수, 공업용수 등으로 사용하기 위한 것이다. 그림 Ⅰ-6은 댐의 종류를 나타낸 것이며, 사용되는 재료에 따라서 중력 댐, 중공 중력 댐, 아치 댐, 부벽 댐 등의 콘크리트 댐과 흙 댐, 사력 댐 등으로 분류된다.

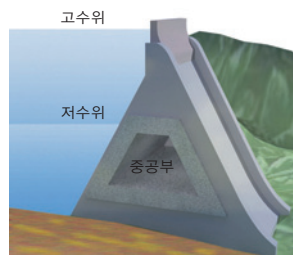
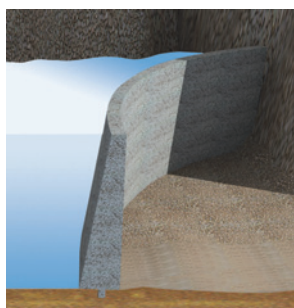
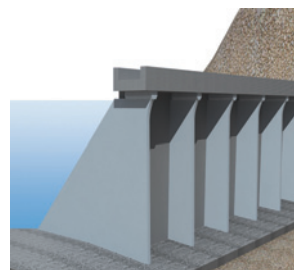
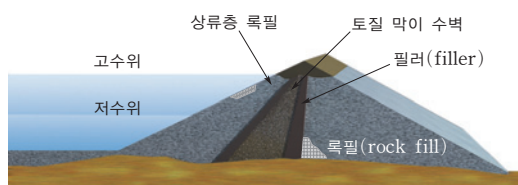



그림 Ⅰ-6 댐의 종류

(2) 수문

댐의 정상부에 수문을 만들어 상류 수위와 일류량을 조정하고, 홍수 시에는 이 수문을 열어 수위가 너무 상승하는 것을 방지하며 상류에 퇴적한 토사를 내보내는 역할을 한다. 표 Ⅰ-4와 그림 Ⅰ-7은 수문의 종류를 나타낸 것으로 슬루스 게이트(sluice gate), 롤러 게이트(roller gate), 스토니 게이트(stony gate), 롤링 게이트(rolling gate), 테인터 게이트(tainter gate), 틸팅 게이트(tilting gate) 등이 있다.

표 Ⅰ-4 수문의 종류와 특징

종류	특징
슬루스 게이트	긴 직사각형의 문짝을 문기둥에 위아래로 개폐하는 구조이다.
롤러 게이트	문짝에 롤러를 만들어 문기둥 사이에 마찰을 줄인 것이다.
스토니 게이트	문틀에 사다리꼴 롤러를 별도로 달아 문짝이 올려지는 높이의 반절만 움직이도록 해 마찰을 아주 적게 한 것으로서 대형 수문에 적합하다.
롤링 게이트	강철재의 긴 원통형의 수문을 수평으로 가로 놓아 물을 막고, 열 때에는 래크 또는 레일을 따라서 원통을 돌리면서 끌어 올린다.
테인터 게이트	차수판의 일부가 반달형으로 수압의 중심에 해당하는 자리에 핀을 만들어 문짝 판의 양 끝에서 문기둥에 부착한다.
틸팅 게이트	문짝 몸체의 하부는 지지되어 돌 수 있고, 상부는 카운터 웨이트에 의해 끌어 올려진다.

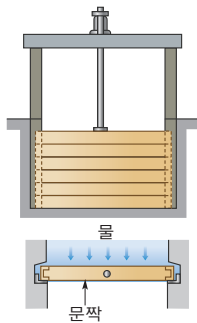
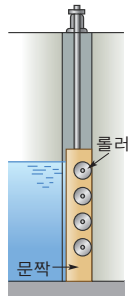
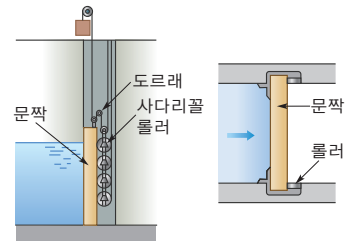
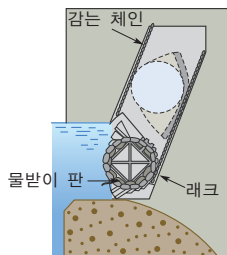
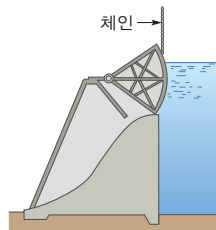
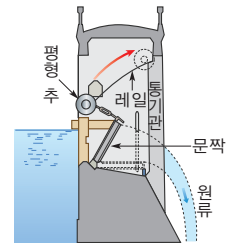



그림 Ⅰ-7 수문의 종류

(3) 댐의 부속 설비

수력 발전소용 댐의 주요 부속 설비는 다음과 같다.

1) **취수구** : 댐에 괸 물이 수로 또는 발전소로 유입되도록 만든 구조물이다.

2) **수로** : 취수구로부터 수조 또는 발전소까지 물을 흐르게 하는 통로이다.

3) **수조** : 수로 구조물에서 발생하는 수격압을 경감시키거나 수차의 부하 변동을 안정

시키는 역할을 한다.

4) **수압관로** : 수조 또는 저수지에서 수차에 압력수를 송수하기 위하여 매설하는 수로를 수압관로라 한다.

5) **방수로, 방수구** : 수차로부터 흘러나오는 물을 원래의 하천으로 방류하기 위한 수로를 방수로라 하며, 그 출구를 방수구라 한다.

6) **안전 설비** : 댐의 안전을 위해 콘크리트 중력 댐 내부에 점검 통로를 시설하는 등 댐 자체의 안전을 위한 설비를 갖추고, 다량의 방류가 필요한 경우에 하류 지역에 위험을 알리는 방류 경보 시설을 갖춘다.

7) **기타** : 어족들의 생태계를 보호하기 위하여 댐 상하부를 왕래할 수 있도록 어도를 설치한다.

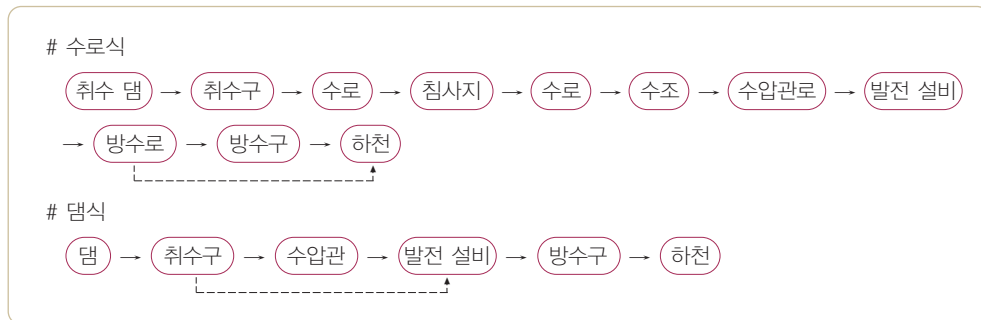
발전 수로의 흐름도는 표 Ⅰ-5와 같이 나타낸다.

표 Ⅰ-5 발전 수로의 흐름 순서

\# 수로식

취수 댐 → 취수구 → 수로 → 침사지 → 수로 → 수조 → 수압관로 → 발전 설비 → 방수로 → 방수구 → 하천

\# 댐식

댐 → 취수구 → 수압관 → 발전 설비 → 방수구 → 하천

2. 수차

수차는 물이 가지고 있는 위치 에너지를 기계적 에너지로 바꾸는 기계로 충동 수차와 반동 수차로 분류한다. 그림 Ⅰ-8은 각종 수차의 회전 날개 모양을 보인 것이다.

(1) 충동 수차

물의 충격력으로 회전하는 구조로, 수압관 맨 끝의 노즐로부터 러너(runner)의 버킷에 물을 충돌시켜 회전하게 된다. 대표적인 수차는 펠턴(Pelton) 수차이며 고낙차에 사용된다.

(2) 반동 수차

압력 수두를 가진 유수를 러너에 작용시키는 구조로, 중낙차에 사용되는 수차는 프랜시스(Francis)와 사류(Diagonal flow) 수차, 저낙차에 사용되는 수차는 프로펠러(Propeller)와 카플란(Kaplan) 수차 등이 있다.

(a) 펠턴 수차 (b) 프랜시스 수차
(c) 프로펠러 수차 (d) 카플란 수차 (e) 사류 수차

그림 Ⅰ-8 각종 수차의 회전 날개 모양

(3) 수차 부속 설비

수차의 부속 설비로는 입구 밸브, 조속기, 압력 조정 장치, 흡출관 등이 있다.

3. 전기 설비

수력 발전소에는 발전 설비 이외에 발생된 전압을 승압하기 위한 변전 설비, 이들을 운전, 감시, 제어하는 배전반, 업무 연락용의 통신 설비 등 각종 전기 설비가 있다. 또한, 발전소 내에서 발생하는 전기 설비의 사고를 검출하여 신속하게 처리하기 위한 각종 보호 장치가 설치되어 있다.

(1) 수차 발전기

수차를 원동력으로 이용하는 발전기를 수차 발전기라 하며 보통 수차와 직결되어 있다. 일반적으로 회전 계자형 3상 교류 동기 발전기를 채용하며, 발전기의 구조는 회전축 방향에 따라 횡축형과 입축형으로 구별된다.

(2) 전동 발전기

양수 발전소에서 수차가 펌프로 되기 위해서는 발전할 때의 회전 방향과 반대로 돌려 주어야 하므로 여기에 직결된 발전기가 전동기로 되어야 한다. 이를 전동 발전기라 한다. 전동 발전기는 전동기로 될 때 회전 방향이 발전할 때와 반대이므로 발전기의 상순을 바꾸어 주는 상 절환 장치가 필요하다.

(3) **여자 설비**

수차 발전기에는 자극에 여자 전류를 공급하기 위한 직류 전원 설비가 필요한데 이것을 여자기라 한다.

여자 설비는 사이리스터를 가진 정지형 여자기로 발전 전동기가 연속적으로 안전 운전을 할 수 있도록 여유 용량을 가지고 있어야 하며, 정상 운전 시에 정전압과 역률 조정 등을 유지하기 위해 자동 전압 조정 장치와 역률 조정 장치가 부속된다.

(4) **소내 전기 설비**

발전소 내의 설비에는 주변압기, 배전반, 분리 모선, 옥외 변전소, 상변환 단로기, 비상 발전기 등이 있다. 배전반은 계기, 개폐기, 계전기, 조정기 등의 감시 제어용 기기와 차단기, 단로기 등으로 이루어져 발전소의 상태를 감시 제어할 수 있다.

4. 양수 설비

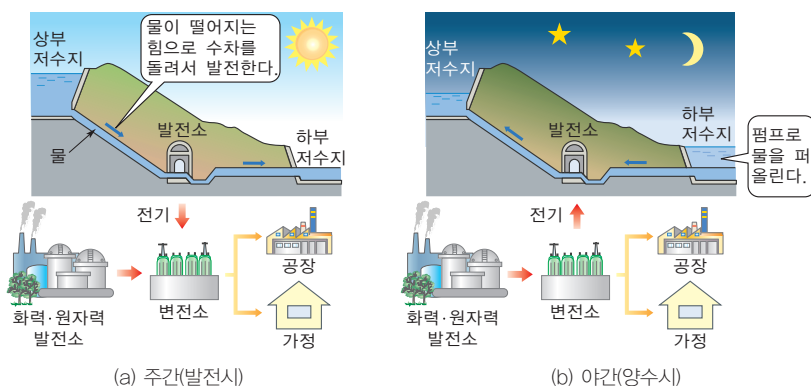
양수 발전소의 계통도는 그림 Ⅰ-9와 같이 낮은 곳에 있는 물을 높은 곳으로 퍼 올렸다가 필요할 때 이 물로 발전을 하는 방식이다. 전력의 가치로 볼 때, 전력 소비가 적은 심야 때에는 소비 전력이 증가하는 낮에 비해 발전 단가가 $\frac{1}{2}$밖에 되지 않는다.

따라서 심야 경부하시의 남은 전력을 이용하여 양수하였다가, 첨두부하시에 이 물을 사용하여 발전하면 전력 생산 비용이 싸게 든다.

그림 Ⅰ-9 양수 발전의 개요

웹사이트에서 자료 찾기

- http://www.kepco.co.kr (한국전력공사)
- http://www.khnp.co.kr (한국수력원자력)
- http://www.kopec.co.kr (한국전력기술)
- http://www.electricity.or.kr (대한전기협회)
- http://www.keca.or.kr (한국전기공사협회)

단원 학습 정리

1 수력 발전 : 수력 발전은 물이 높은 곳에 있는 하천이나 호수 등으로부터 여러 방법으로 물을 취수하여 수로를 통해 낮은 곳에 있는 수차를 돌려 기계 에너지로 변환시킴으로써 전기 에너지를 얻는 방법이다.

2 수력 발전의 종류

일반 수력 발전, 소수력 발전, 양수 발전

3 수력 발전소의 분류

① 낙차의 크기 의한 분류 : 초저낙차, 저낙차, 중낙차, 고낙차
② 취수 방식에 의한 분류 : 수로식, 댐식, 댐 수로식, 유역 변경식
③ 유량 사용 방식에 의한 분류 : 자류식, 저수지식, 조정지식, 양수식

4 수력 자원

① 수두 : 위치 수두, 압력 수두, 속도 수두
② 베르누이의 정리 : 유체는 일련의 유선에서 운동 에너지, 위치 에너지, 압력 에너지의 총합이 일정하다.

5 하천 유량과 낙차

① 유량의 크기 : 최대 갈수량, 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 고수량, 홍수량, 최대 홍수량, 연평균 유량
② 유량도 : 가로축에 날짜, 세로축에 유량을 기록한 도표
③ 유량 곡선 : 유량도를 기준으로 가로축에 매일 발생한 유량, 세로축에 유량의 크기를 순서에 따라 표기한 도표
④ 적산 유량 곡선 : 매일 사용 수량을 적산한 도표
⑤ 유량 측정 : 단면적과 유속을 측정하여 계측
⑥ 낙차 : 취수구의 수위와 방수구의 수위 차를 총 낙차라 하며, 여기에서 손실 낙차를 제외하면 유효 낙차를 얻을 수 있다.

6 수력 발전소의 출력

① 이론 출력 $P=9.8QH_e$〔kW〕
② 실제 출력 $P_0=9.8QH_e\eta_t\eta_g$〔kW〕
(유효 낙차 H_e〔m〕, 유량 Q〔m^3/s〕, 수차의 효율 η_t, 발전기 효율 η_g)

7 수력 설비

① 댐 : 유수의 저수나 취수를 위하여 하천을 막는 구조물
② 댐의 종류 : 중력 댐, 중공 중력 댐, 아치 댐, 흙 댐, 사력 댐
③ 수문 : 상류 수위와 일류량을 조정
④ 수문의 종류 : 슬루스 게이트, 롤러 게이트, 스토니 게이트, 롤링 게이트, 테인터 게이트, 틸팅 게이트
⑤ 댐의 부속 설비 : 취수구, 수로, 수조, 수압관로, 방수로, 방수구
⑥ 수차 : 물이 가지고 있는 위치 에너지를 기계적 에너지로 바꾸는 기계
⑦ 수차의 분류 : 충동 수차〔고낙차(펠턴)〕, 반동 수차〔중낙차(프랜시스, 사류), 저낙차(프로펠러, 카플란)〕
⑧ 수차의 부속 설비 : 입구 밸브, 조속기, 압력 조정 장치, 흡출관
⑨ 전기 설비 : 수차 발전기, 전동 발전기, 여자 설비, 소내 전기 설비 등
⑩ 양수 발전 : 주로 심야 경부하시에 낮은 곳에 있는 물을 높은 곳으로 퍼 올렸다가 필요할 때 이 물을 발전에 이용하는 방식

단원 종합 문제

1 수력 발전은 어떤 에너지를 이용한 것인가?

① 물의 위치 에너지 ② 증기의 압력 에너지 ③ 원자력의 열에너지
④ 풍력 에너지 ⑤ 지열 에너지

2 수력 발전소의 종류 중 낙차에 의한 분류가 아닌 것은?

① 초저낙차 ② 저낙차 ③ 댐 수로 낙차 ④ 중낙차 ⑤ 고낙차

3 유량의 크기를 나타내는 것이 아닌 것은?

① 갈수량 ② 저수량 ③ 평수량 ④ 고수량 ⑤ 담수량

4 유체의 운동에서 '운동 에너지, 위치 에너지, 압력 에너지의 총합은 일정하다.' 라는 정리는 누구의 정리인가?

① 랭킨 ② 베르누이 ③ 칼빈 ④ 옴 ⑤ 페러데이

5 유량도의 세로축은 유량을 기록한다. 그러면, 가로축은 무엇을 기록하는가?

① 각 지방 ② 산의 명칭 ③ 강의 명칭 ④ 날짜 ⑤ 해안 이름

6 매일 사용하는 수량을 적은 곡선은?

① 유량도 ② 유량 곡선 ③ 적산 유량 곡선
④ 유량 측정도 ⑤ 낙차 곡선

7 수력 설비 중에서 물의 저수나 취수를 위하여 하천을 막는 구조물을 무엇이라 하는가?

① 수문 ② 롤러 게이트 ③ 댐 ④ 반동 수차 ⑤ 방수로

8 댐의 부속 설비가 아닌 것은?

① 취수구 ② 수로 ③ 수조 ④ 흡출관 ⑤ 수압관로

9 수차의 종류 중 충동 수차에 속하는 것은?

① 펠턴 ② 프랜시스 ③ 프로펠러 ④ 카플란 ⑤ 사류

10 양수 발전에 대하여 설명하여 보자.

정답 | 1 ① 2 ③ 3 ⑤ 4 ② 5 ④ 6 ③ 7 ③ 8 ④ 9 ① 10 생략

• 교육과학기술부(2009). 『고등학교 전력 설비 Ⅰ』. (주)두산동아.
• 교육부(1999). 『고등학교 전력』. (주)대한교과서.

2 화력 발전

학습 목표 |

1. 화력 발전의 종류와 구성에 대하여 설명할 수 있다.
2. 증기의 성질과 열 사이클에 대하여 설명할 수 있다.
3. 증기 터빈의 원리와 구성에 대하여 설명할 수 있다.
4. 내연력 발전소에 대하여 설명할 수 있다.

1 화력 발전의 개요

석탄, 석유, 가스 등이 가지고 있는 1차 에너지를 보일러 장치에서 열에너지로 바꾸고, 이것을 터빈에서 기계적 에너지로 바꾼 다음 발전기를 통하여 전기 에너지로 변환하는 것을 화력 발전이라 한다. 화력 발전에 필요한 설비를 가지고 연료를 연소시켜 전력을 생산하는 곳을 화력 발전소라 한다.

1. 화력 발전의 종류

(1) 기력 발전

석탄, 석유, 가스 등의 연료를 연소하여 얻은 열로 증기를 발생시켜 이 증기로 터빈 발전기를 돌려 발전하는 방식이다.

(2) 내연력 발전

디젤 기관 등의 내연 기관 내에서 직접 연료를 연소시켜 동력을 얻어 발전기를 구동시켜 발전한다. 연료의 열에너지를 직접 동력 에너지로 변환하므로 설비가 간단하다. 연료로는 가스, 중유, 경유 등을 사용한다. 또한 연료를 연소시킨 연소 가스로 직접 가스 터빈을 회전시켜 터빈에 연결된 발전기를 구동시켜 발전하는 가스 터빈 발전 방식도 함께 쓰고 있다.

(3) 복합 화력 발전

가스 터빈 발전과 기력 발전을 조합한 형태로 가스 터빈을 돌리고 나온 배기가스의 남아 있는 열을 이용한다.

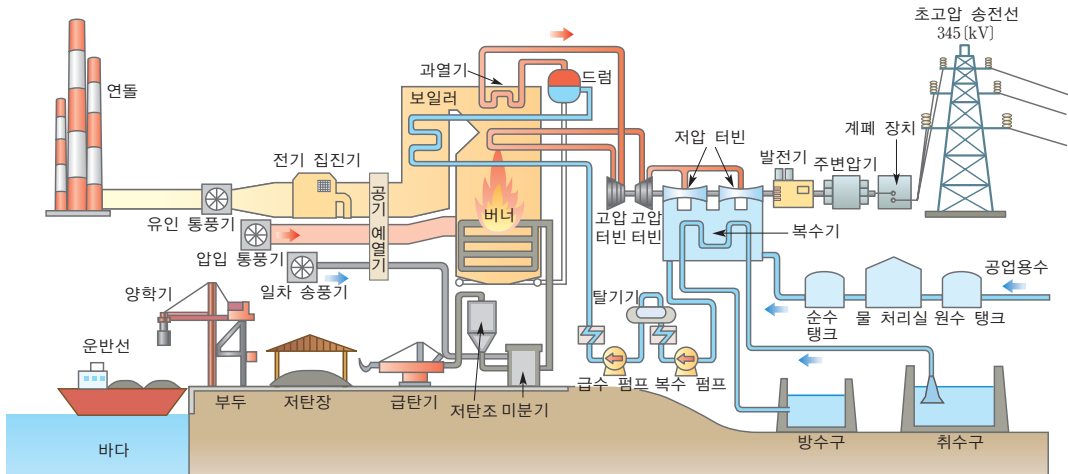



그림 Ⅰ-10 기력 발전소의 구성

2. 기력 발전소의 구성

그림 Ⅰ-10은 기력 발전소의 구성을 보인 것으로 주요 계통을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 연료 계통

석탄 또는 중유, 원유를 선박이나 열차로부터 하역하여 이를 저장해서 보일러로 공급하는 설비이다.

(2) 연소 계통

보일러, 굴뚝, 통풍 설비로 구성되어 있다.

(3) 증기 계통

보일러에서 발생된 증기가 터빈을 돌린 뒤 복수기에서 냉각되어 다시 물로 되는 계통이다.

(4) 복수, 급수 계통

복수기에서 냉각된 물은 복수 펌프에 의해 급수 저장 탱크로 보내어지며, 급수 펌프에 의하여 보일러 급수로 공급된다.

(5) 순환수 계통

저압 터빈을 돌리고 나온 증기를 물 상태로 응축하기 위해 복수기 내로 차가운 물을 보내는 계통이다.

(6) 전기 계통

증기 터빈의 회전은 축에 직결되어 있는 발전기에 전달되고, 발전된 전기는 변압기에 의하여 승압되어 송전선을 따라 전력 계통으로 흐르게 된다.

(7) 재처리 계통

연료가 연소하고 남은 재를 처리하는 설비이다.

2 증기의 성질과 열 사이클

1. 물과 증기

(1) 끓는점과 포화 온도

대기압에서 물을 가열하면 그 온도는 점점 상승하다가 100〔℃〕에 도달했을 때 온도 상승이 멈추게 된다. 여기에 다시 가열을 계속하면 비등하여 증기로 변한다.

이와 같이 물이 비등하여 증기로 변하는 온도를 끓는점이라 한다. 끓는점의 온도는 항상 100〔℃〕가 아니고 주위의 압력에 따라 다르다. 그러므로 '기압이 얼마일 때 물의 끓는점은 몇〔℃〕이다.' 라고 표현하며, 이 온도를 '그 압력에 대한 포화 온도' 라 한다.

(2) 액체열과 증발열

대기압에서 0〔℃〕의 물 1〔kg〕을 가열해서 100〔℃〕가 되어 온도 상승이 멎으면, 100〔kcal〕의 열량을 가한 것이다. 열의 손실이 없었다면 이 열량은 내부에 축적되어 있다.

이와 같이, 열량이 주어지면 바로 온도 변화를 나타내는 열량을 액체열 또는 현열이라 한다. 또, 물이 100〔℃〕가 되면 비등이 시작되어 전부 증기가 되어 없어질 때까지 온도는 상승하지 않고 일정하다. 이와 같이, 열량이 주어져도 온도 변화가 나타나지 않고 내부에 축적되는 열량을 증발열(기화열) 또는 숨은열(잠열)이라 한다.

(3) 포화 증기

물이 완전히 증발할 때까지는 해당 온도의 물과 증기가 섞여 있게 되는데, 이 상태를 습증기라 하고, 완전히 증기로 된 상태를 건조 포화 증기라 한다. 대기압에서 건조 포화 증기 1〔kg〕이 가지고 있는 열량은 액체열(100〔kcal〕)과 증발열(539〔kcal〕)을 합한 639〔kcal〕이다.

(4) 물의 임계 압력과 임계 온도

물의 증발열은 그림 Ⅰ-11과 같이 기압에 따라 달라서 기압이 높을수록 증발열이 적어져서 225.65〔kg/cm^2〕의 압력이 되면 증발열은 0이 되고, 물은 이 압력에 대한 포화 온도 374.15〔℃〕까지 온도가 상승하면 전부 증기로 변한다.

이때의 점을 임계점이라 하고, 그 온도와 압력을 각각 임계 온도와 임계 압력이라 한다. 따라서 물의 임계 압력은 225.65〔kg/cm²〕이고, 임계 온도는 374.15〔℃〕가 된다.

그림 Ⅰ-11 물의 보유 열량과 압력의 관계

(5) 과열 증기

건조 증기를 다시 가열하게 되면 다시 주어진 열량에 비례해서 온도가 상승한다. 이와 같이 포화 온도를 넘는 증기를 과열 증기라고 한다. 그림 Ⅰ-12는 증기 상태의 변화를 나타낸 것이다.

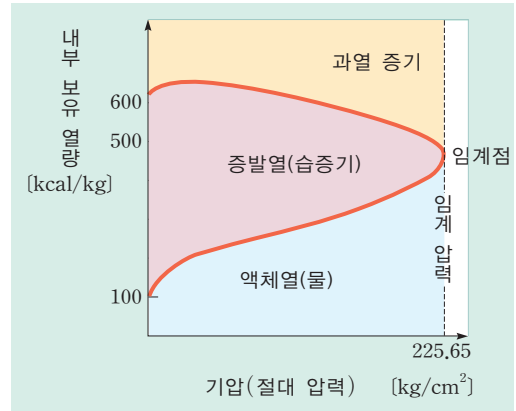
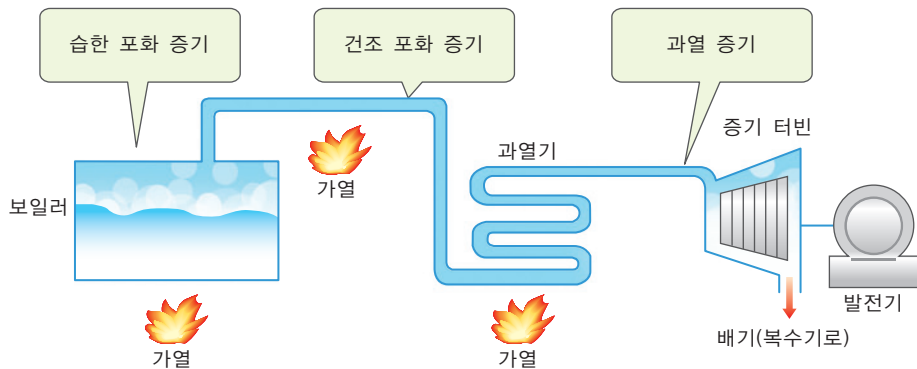



그림 Ⅰ-12 증기 상태의 변화

(6) 엔탈피

어떤 물질이 가지고 있는 전 열량, 즉 액체열과 증발열의 합을 엔탈피(enthalpy)라 하는데, 수력학에서 수두와 같이 엔탈피가 큰 증기가 큰 열에너지를 가진다.

엔탈피는 물체 1〔kg〕에 대하여 온도 0〔℃〕, 압력 1〔kg/cm²〕를 기준으로 하며, 단위로는 〔kcal/kg〕을 사용한다.

(7) 엔트로피

어떤 절대 온도 T〔K〕에서 증기 또는 물에 열량 i〔kcal〕를 가했을 때 $\frac{i}{T}$〔kcal/K〕를 엔트로피의 증가라고 한다. 일반적으로, 0〔℃〕(=273〔K〕)인 물의 엔트로피를 0으로 하여 이것으로부터 증가를 그 상태에서 그 온도일 때의 엔트로피라 한다.

2. 기체의 성질과 상태의 변화

(1) 보일-샤를의 법칙

보일-샤를의 법칙(Boyle-Charle's law)은 기체의 압력과 온도와 부피의 관계를 나타낸 법칙으로, 기체의 부피는 그 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례한다.

(2) 기체의 상태 변화

일정 조건에서 기체의 상태 변화는 등압 변화, 등적 변화, 등온 변화, 단열 변화의 네 가지가 있다.

3. 열 사이클

열기관은 액체나 기체의 상태를 변화시킴으로써 그것이 가지고 있는 열에너지를 동력으로 변화시키는 것으로, 그동안 상태가 변화하는 과정을 열 사이클이라 한다.

(1) 랭킨 사이클

랭킨 사이클(rankine cycle)은 기력 발전소의 열 사이클 중에서 가장 기본이다. 그림 Ⅰ-13과 같은 순서로 변화하면서 그 사이에 일을 하고 순환을 반복한다.

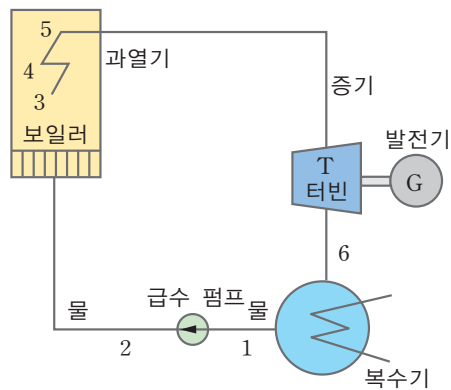



그림 Ⅰ-13 랭킨 사이클

1 → 2 급수 펌프로 압축을 한다. (단열 압축)

2 → 3 보일러에서 포화 온도까지 가열한다. (등압 가열)

3 → 4 보일러에서 증발하여 포화 증기로 된다. (등온 · 등압 가열)

4 → 5 과열기에서 과열된다. (등압 변화)

5 → 6 터빈에서 일을 하고 온도, 압력이 떨어진다. (단열 팽창)

6 → 1 복수기에서 냉각되어 물로 되돌아온다. (등온 · 등압 변화)

랭킨 사이클의 열효율을 향상시키는 방법으로는 다음과 같은 여러 가지 방법을 생

각할 수 있다.

① 터빈 입구의 증기 온도(초기 온도)를 높게 한다.

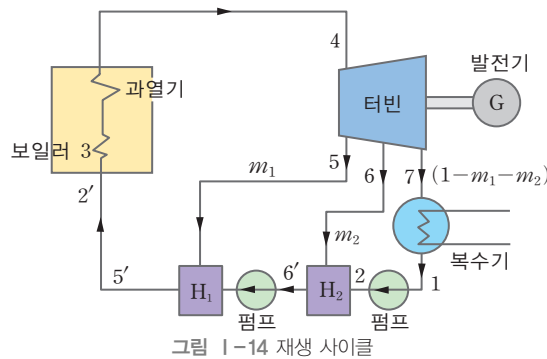
② 터빈 입구의 증기 압력(초기 압력)을 높게 한다.

③ 터빈 출구의 배기 압력(배압)을 낮게 한다.

위의 방법에서 열 사이클의 효율을 향상시키기 위해 랭킨 사이클에서 발전한 재생 사이클, 재열 사이클, 재생 재열 사이클 등이 사용되고 있다.

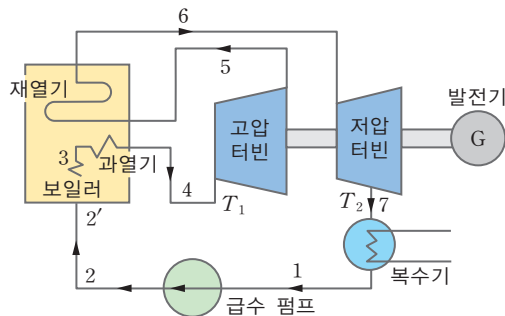
(2) 재생 사이클

그림 Ⅰ-14에서와 같이 터빈의 중도에서 증기를 뽑아내어, 이 증기로 급수를 예열함으로써 남은 열을 유효하게 이용하는 것이 재생 사이클이다. 여기서 뽑아낸 증기는 복수기에 들어가지 않고 가지고 있던 열량 전부가 급수 예열에 이용된다.

그림 Ⅰ-14 재생 사이클

(3) 재열 사이클

처음 압력만을 높이고 온도를 높이지 않으면 터빈 저압부에서 습도가 증가하여 손실의 증가는 물론, 터빈 날개가 부식된다.

이러한 결점을 없애기 위하여 그림 Ⅰ-15에서 보는 것과 같이 터빈에서 팽창된 증기가 포화 상태에 가까워졌을 때 이를 보일러에 되돌려 보내 다시 가열하여 터빈으로 보내서 일을 시키는 것이 재열 사이클 방식이다.

그림 Ⅰ-15 재열 사이클

(4) 재생 재열 사이클

재생 사이클과 재열 사이클을 조합하여 병용하는 방식을 재생 재열 사이클이라 한다. 효율 저하와 저압 터빈에서 습도 증가 등 두 가지 결점을 없앨 수 있는 것으로, 현재 대용량의 발전소에서는 대부분 그림 Ⅰ-16과 같이 재생 재열 사이클을 채용하고 있다.

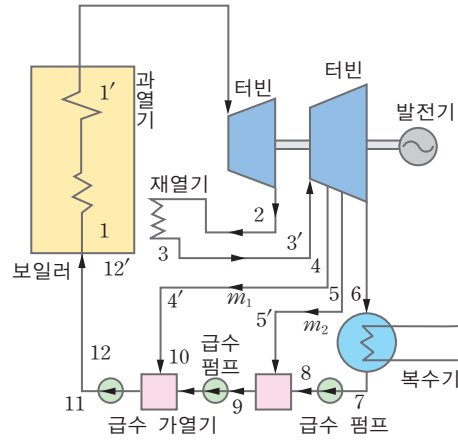



그림 Ⅰ-16 재생 재열 사이클

탐 | 구 | 활 | 동

기체의 성질과 상태의 변화에 대하여 알아보자.

3 연료와 연소

연료는 발전에 필요한 열량을 발생시킬 수 있는 원료를 말하며, 그 자체 내부 에너지가 바뀌거나 산소와 결합해 열량을 발생시키는 것을 연소 반응이라 한다.

연료는 다음과 같은 조건을 갖추어야 한다.

① 생산량이 풍부하고 공급이 안정적이어야 한다.

② 가격이 저렴하고, 저장, 운반, 취급이 용이해야 한다.

③ 연소가 잘 되고 발열량이 커야 한다.

④ 대기 오염에 영향을 주는 성분이 적어야 한다.

1. 연료

발전용 연료로는 석탄, 석유, 액화 천연가스 등이 있다.

2. 연소

연소는 물질(석탄, 중유에서는 탄소분)이 공기 중의 산소와 화합하여 열을 발생하는 것이다.

연료를 잘 연소시키려면 불이 붙을 수 있도록 온도를 유지하고 완전 연소가 될 수 있게 적당한 공기를 연료와 잘 접촉하도록 공급해야 한다.

3. 연소 장치

연소 장치에는 연료의 종류에 따라 고체 연료 연소 장치, 액체 연료 연소 장치, 기체 연료 연소 장치가 사용된다.

4. 자동 버너

전자 제어 장치로 구성된 자동 버너 운전은 주 버너와 점화 버너의 점화와 소화를 중앙 제어실 등에서 할 수 있다.

버너의 점화와 소화 이외에 노 내의 압력계나 화염 감지기로 운전 중인 버너의 화염을 감시하여 버너의 각도, 연료량 등을 자동으로 제어한다.

4 보일러

1. 보일러의 개요

보일러는 연료의 연소열을 이용하여 물을 일정한 온도와 압력을 가진 증기로 변환시키는 설비를 말하며, 원통 보일러와 수관 보일러가 있다.

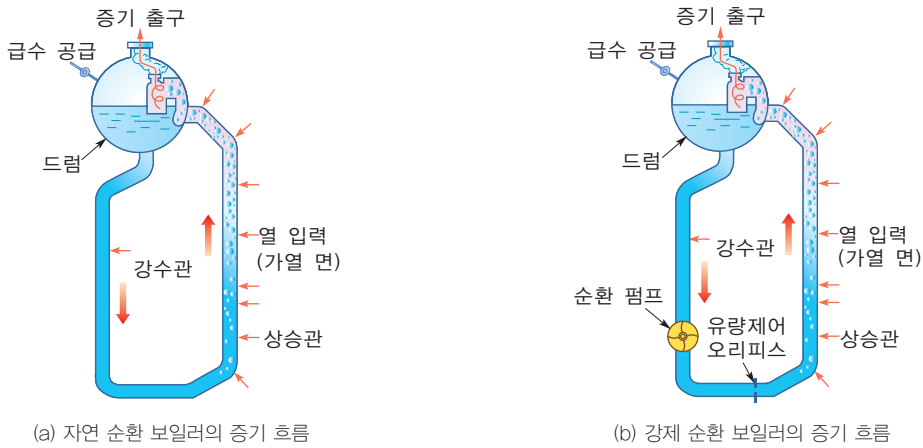
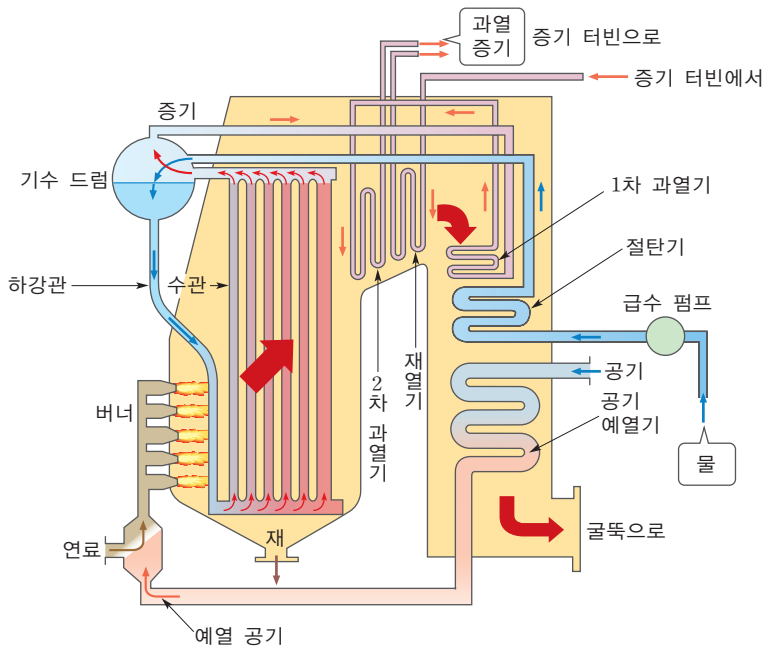
수관 보일러에는 드럼 보일러(자연 순환 보일러, 강제 순환 보일러)와 관류 보일러(벤손 보일러, 복합 순환 보일러)가 있다. 그림 Ⅰ-17은 자연 순환과 강제 순환 보일러의 증기 흐름을 보인 것이다.

2. 보일러의 구성

보일러 설비의 구성은 보일러 본체, 연료 연소 설비, 통풍 설비, 급수 설비, 자동 제어 장치, 그 밖의 설비로 되어 있다. 보일러는 그림 Ⅰ-18과 같이 연료를 연소시키는 노와 증기의 밀폐 용기인 보일러 본체로 구성되며, 이 밖에 과열기, 절탄기, 공기 예열

기 등의 부속 설비로 되어 있다.

그림 Ⅰ-17 드럼 보일러의 증기 흐름

그림 Ⅰ-18 발전용 보일러의 구성

(1) 노

노(furnace)는 보일러 설비 중에서 가장 중요한 부분이며, 보일러의 효율이 좋고 나쁜 것은 노의 구조에 의하여 좌우된다. 일반적으로 벽돌벽, 공랭벽, 수냉벽의 세 종류가 있다.

(2) 드럼과 수관

드럼(drum)과 수관은 강철로 만든 물의 용기와 관으로서, 이것을 노의 위에 설치한다. 열 가스로 드럼이나 수관 내의 물을 가열하여 증기를 발생시키는 설비이다.

⑶ 과열기

과열기는 보일러의 연도 또는 화로 내에 설치되어 보일러에서 발생한 포화 증기를 가열하여 과열 증기를 만들어 증기 터빈에 공급하는 것이다.

⑷ 재열기

재열기는 고압 터빈에서 팽창하여 온도와 압력이 포화 상태 부근까지 낮아진 증기를 다시 보일러에 보내어, 증기 온도를 최초의 과열 온도 부근까지 재가열시킨 다음 다시 중압이나 저압 터빈으로 보내어 일을 하도록 하는 것이다.

⑸ 증기 온도 제어 장치

터빈의 열 응력 감소와 저압단에서 습기에 의한 부식을 방지하고 보일러 효율 향상, 과열기와 재열기의 과열을 방지하기 위해 과열 증기 온도를 일정하게 유지한다. 또, 부하 변동에 따라 변화하는 증기 온도를 일정하게 하기 위해 증기 온도 제어 장치를 설치한다.

⑹ 절탄기

절탄기는 배기가스의 남은 열을 이용하여 보일러에 공급되는 급수를 예열하고 보일러 효율을 향상시키기 위해 남은 열을 회수하는 장치이다.

⑺ 공기 예열기

공기 예열기는 보일러에서 절탄기를 거쳐 배출되는 연소 가스의 나머지 남은 열로 연소에 필요한 연소용 공기를 예열하는 열 회수 장치이다.

⑻ 숫 블로어

보일러의 각 부 전열 면에는 그을음, 재 클링커(clinker) 등이 부착되어 열 전달과 통풍을 저해한다. 이를 방지하기 위해서 정기적으로 고온의 증기나 압축 공기를 분사시켜 전열 면을 청소하는 장치를 숫 블로어(soot blower)라 한다.

3. 급수

⑴ 보일러 급수

보일러 용수는 많은 양의 물이 필요하므로 하천수가 경제적이다. 지하수도 사용할 수 있으나 하천수에 비하여 광물질이 용해되어 있어 경도가 높다. 이에 비해 하천수는 호우시에 혼탁하며 부유물이 많아, 사용 수량을 최소 4～6시간 보유할 수 있는 침전지가 있어야 한다.

⑵ 급수 가열기

증기 터빈에서 뽑아낸 증기로 보일러 급수를 가열해서 발전소 열효율을 좋게 한다. 여기에 사용되는 장치를 급수 가열기라 한다.

(3) 탈기기

보일러 급수 중에 포함되어 있는 산소와 수소 등은 배관, 보일러 등을 부식시키는데, 이와 같은 기체를 제거하는 장치가 탈기기이다.

(4) 급수 펌프

급수 펌프는 보일러에 물을 공급하기 위해 사용하는 것으로, 왕복 펌프와 다단 원심 펌프가 사용된다.

4. 통풍 설비

보일러에서 연료를 완전 연소시키기 위해 연료와 함께 노 안으로 공기를 공급한다. 이때 발생한 가스는 가열 면을 거쳐서 적당한 속도로 굴뚝으로 배출시켜야 하는데, 이 환기 작용을 통풍이라 한다. 통풍 설비로는 통풍기, 굴뚝, 집진 장치 등이 있다. 통풍 방식에는 압입 통풍과 유인 통풍, 그리고 이 두 가지를 모두 설치하는 평형 통풍 등이 있다.

5. 자동 연소 제어

기력 발전소의 운전은 공급되는 연료, 공기량, 급수량과 사용 증기량 등이 서로 밀접한 관계를 가지고 있다. 발전기의 부하 변동에 따라 사용 증기량이 변화할 때 연소 계통과 급수 계통 등이 적절하게 변화하지 않으면 최대의 효율을 기대할 수 없다. 또한 대용량 발전소의 경우에는 증기 온도, 증기 압력이 높기 때문에 부하 변동에 따라 연료, 공기량, 급수량 등에 빨리 대응하지 않으면 위험할 수 있다. 이와 같이 효율면이나 안전상으로도 여러 양의 제어를 수동으로 조작, 감시하는 것은 어려움이 있다. 따라서 전력 계통을 총괄 제어하는 중앙 급전소에서 주어지는 발전량 제어 신호에 따라 자동 연소 제어, 보일러 자동 제어 등의 시스템을 이용해 연료, 연소, 급수, 온도 등을 집중 제어하는 중앙 제어 방식을 채용하고 있다.

5 증기 터빈

1. 증기 터빈의 원리

증기 터빈은 고온, 고압의 증기가 가진 열에너지를 운동 에너지로 바꾸어, 이것을 기계적 일로 변환시키는 원동기이다. 고온, 고압의 증기를 노즐을 통하여 분출시키면 증기의 압력이 낮아지면서 팽창된다. 이때 증기가 가진 열에너지는 운동 에너지로 바뀌고 증기는 고속으로 저압 쪽으로 분출하면서 회전 날개를 돌리게 된다. 증기 터빈에

서는 노즐과 회전 날개의 한 조가 기본 요소이다. 이 한 조를 증기 터빈의 단(stage)이라 하며, 충동단과 반동단이 있다. 증기 터빈은 몇 개의 단으로 구성되는 것이 보통이며, 각 단마다 1회씩 증기의 열에너지가 기계적인 일로 변환된다.

2. 증기 터빈의 분류

증기 터빈은 증기의 작용에 따라 충동 터빈, 반동 터빈, 혼식 터빈으로 분류된다. 충동 터빈은 고온, 고압인 증기의 충격력만을 쓰는 터빈이며, 반동 터빈은 회전 날개 안에서 생기는 팽창력의 반동을 이용한다. 혼식 터빈은 충동 터빈과 반동 터빈을 조합한 것으로 증기 부피가 작은 고압단에 충동 터빈을 설치하고, 그 뒤를 반동 터빈으로 만들어 고출력용으로 쓴다. 그림 Ⅰ-19은 충동 터빈과 반동 터빈의 구조를 나타낸 것이다.

(a) 충동 터빈의 구조 (b) 반동 터빈의 구조 (c) 반동 터빈의 증기 통로

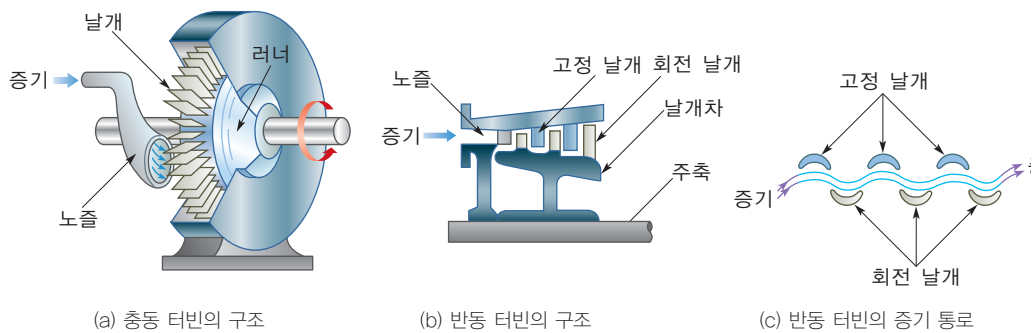



그림 Ⅰ-19 터빈의 구조

또, 증기 터빈은 증기 통로 방향에 따라서 축류 터빈, 반경류 터빈으로 나뉜다.

차실과 축 차수에 따라 보면 1개의 차실에 1개의 축차를 수용한 단실 터빈과 여러 차실을 가진 다실 터빈으로도 분류된다. 그림 Ⅰ-20은 증기 터빈의 형식을 보인 것이다.

(a) 빗살형 터빈의 예 (b) 2축 터빈의 예

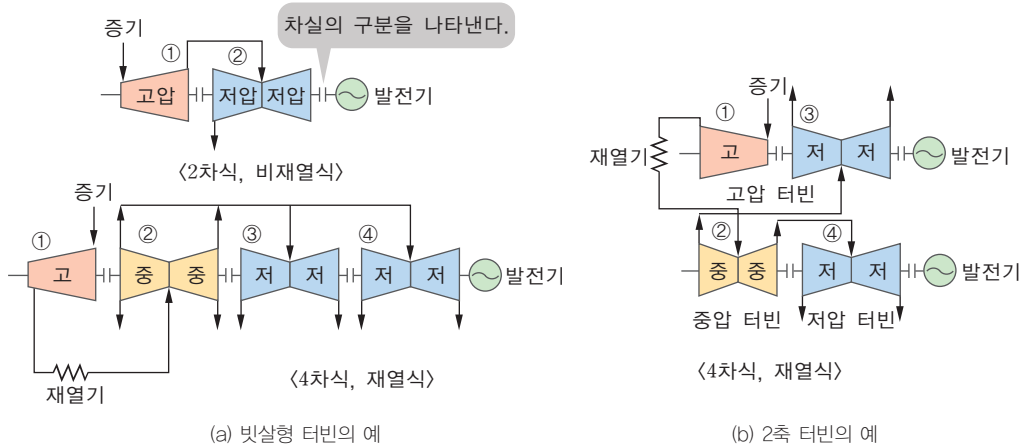



그림 Ⅰ-20 증기 터빈의 형식

3. 증기 터빈의 구조

증기 터빈 구조의 주요 부분은 터빈 차실, 다이어프램(diaphragm), 노즐, 날개, 누설 방지 장치 등으로 이루어져 있다.

4. 증기 터빈의 조속

증기 터빈에서 부하가 변하여도 공급 증기량과 그 압력을 조절하여 돌아가는 속도를 일정하게 유지하는 것을 조속이라고 하며, 이를 위해 사용하는 장치를 조속기라 한다. 증기 터빈의 속도를 조절하기 위해서는 공급 증기량과 압력을 가감하면 된다. 이 방법에는 교축 조속법과 노즐 조속법이 있다.

5. 복수 장치

증기 터빈에서 배기되는 증기를 용기 내부로 도입하여 물로 냉각시키면, 증기는 응결하고 용기 내부는 진공이 되므로 공기를 저압까지 팽창시킬 수 있다. 이렇게 하면 전체의 열 낙차를 증가시키고, 증기 터빈의 열효율을 높일 수 있다. 이 목적으로 쓰는 설비가 복수기이다. 복수기에는 표면 복수기, 증발 복수기, 분사 복수기, 방사 복수기 등이 있다. 기력 발전소에서는 표면 복수기가 많이 사용된다.

6 발전기

발전기는 증기 터빈 축에 직결되어 운전되기 때문에 터빈 발전기라고도 한다. 증기 터빈의 회전수가 대단히 높기 때문에 2극 3상 동기 발전기를 사용한다. 냉각 방식은 고속으로 회전하므로 수소 냉각 방식이 사용된다.

7 기력 발전소의 효율

보일러 효율과 터빈 효율을 합한 전체의 효율을 기력 발전소 효율이라고 하며, 소비된 연료량과 터빈의 출력량을 이용하여 계산한다.

발전소 부하는 계속 변화하므로 열효율은 어떤 기간에 대한 평균값으로 표시할 수밖에 없다. 따라서 발전소 부하는 열효율에 큰 영향을 끼치게 되며, 발전소 열효율 η는 다음 식으로 나타낸다.

$$\eta = \frac{860W}{mH} \times 100 [\%] \quad \cdots\cdots (\text{I}-5)$$

여기서, η : 발전소의 열효율

W : 어떤 기간에 발생한 총 전력량 〔kWh〕

m : 같은 기간에 소비된 연료량 〔kg〕

H : 연료의 발열량 〔kcal/kg〕

8 내연력 발전

내연 기관 안에서 직접 연료를 연소시킨 동력으로 발전기를 구동시켜 발전한다. 내연 기관은 쓰는 연료에 따라 가스 기관, 가솔린 기관, 석유 기관, 디젤 기관이 있으며, 화력 발전용으로는 디젤 기관이 널리 쓰이고 있다. 또한 연료를 연소시켜 생기는 가스의 힘으로 직접 가스 터빈을 돌려 터빈에 이어진 발전기를 돌려 발전하는 가스 터빈 발전 방식도 함께 쓰고 있다.

1. 디젤 발전

(1) 디젤 기관의 원리와 특징

실린더 내에서 공기만을 높은 압축비로 압축하여 고온, 고압이 되었을 때, 여기에 연료를 분사시키면 특별한 점화 장치가 없어도 연소, 팽창에 의하여 피스톤을 움직일 수 있다. 디젤 기관은 이 왕복 운동을 크랭크축에 의하여 회전 운동으로 변환시켜 동력을 얻는 장치이다.

(2) 동작 사이클

디젤 기관은 가솔린 기관과 같이 동작 사이클에 의하여 4사이클 방식과 2사이클 방식이 있다.

4사이클 방식은 흡입, 압축, 폭발, 배기의 4행정 사이클을 크랭크축이 2회전하는 사이에 끝내는 기관이다. 2사이클 방식은 피스톤의 2행정, 즉 크랭크축 1회전에 1사이클을 마치는 기관으로 실린더 중간에 배기구와 흡기구가 설치되어 있다.

그림 Ⅰ-21은 4사이클 기관의 원리를 보인 것이다.

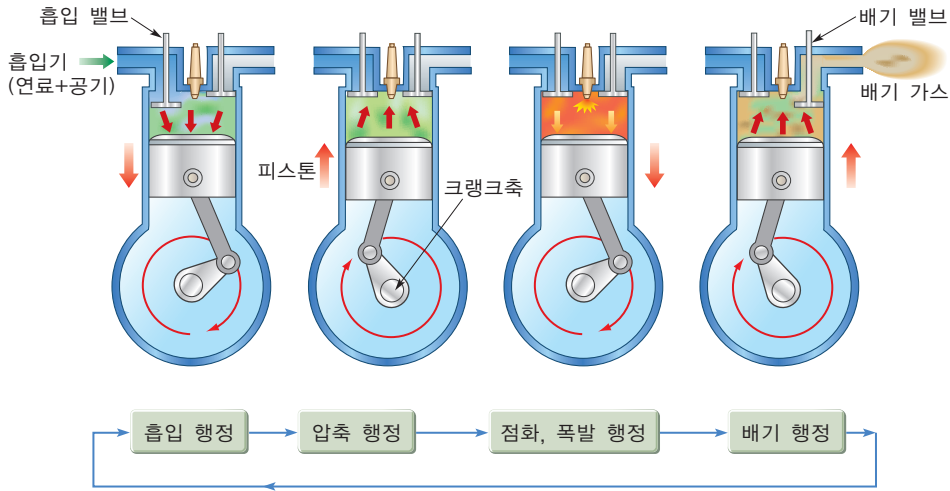



그림 Ⅰ-21 4사이클 기관의 원리

(3) 디젤 발전소의 용도

디젤 기관은 다른 발전 설비에 비해 기동 특성이 우수하다. 효율이 높은 장점이 있으나 대용량의 제작이 불가능하기 때문에, 전력 계통 규모가 상대적으로 작은 도서 지방의 소용량 발전소나, 육지 전력 계통의 비상 발전기 등 보조 전원용으로 사용된다.

2. 가스 터빈 발전

가스 터빈은 내연 기관의 한 종류이다. 기관 내부에서 연료를 연소시켜, 이때 팽창한 열가스를 증기 터빈과 같이 날개차에 작용시킴으로써 가스가 가지고 있는 열에너지를 회전 에너지로 변환하는 열기관이다. 그림 Ⅰ-22는 가스 터빈과 증기 터빈의 결합을 나타낸 것이다.

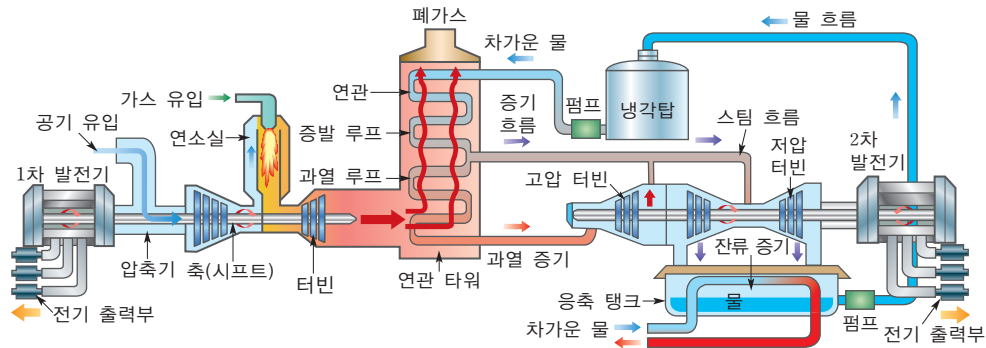



그림 Ⅰ-22 가스 터빈과 증기 터빈의 결합

가스 터빈에 채용되는 열 사이클은 개방 사이클, 밀폐 사이클, 반밀폐 사이클, 복합 사이클이 있다.

가스 터빈 발전 방식은 급속 기동이 용이하여 급격한 부하의 변화에도 대응할 수 있으므로 첨두부하용으로 가장 적당하다.

또한, 장치가 간단하고, 보조 설비가 적으며, 보수도 쉽고, 건설비도 싸기 때문에 도서 지방, 예비 전원용 등으로 많이 사용된다. 연료로는 주로 중유, 가스 등을 사용한다.

최근에는 대용량 가스 터빈이 개발되어 주 전력 공급용으로 대체되고 있다. 또한 열효율이 높은 복합 발전 또는 열병합 발전 시스템 등으로 건설되고 있다. 그림 Ⅰ-23은 복합 화력 발전의 계통도를 보인 것이다.

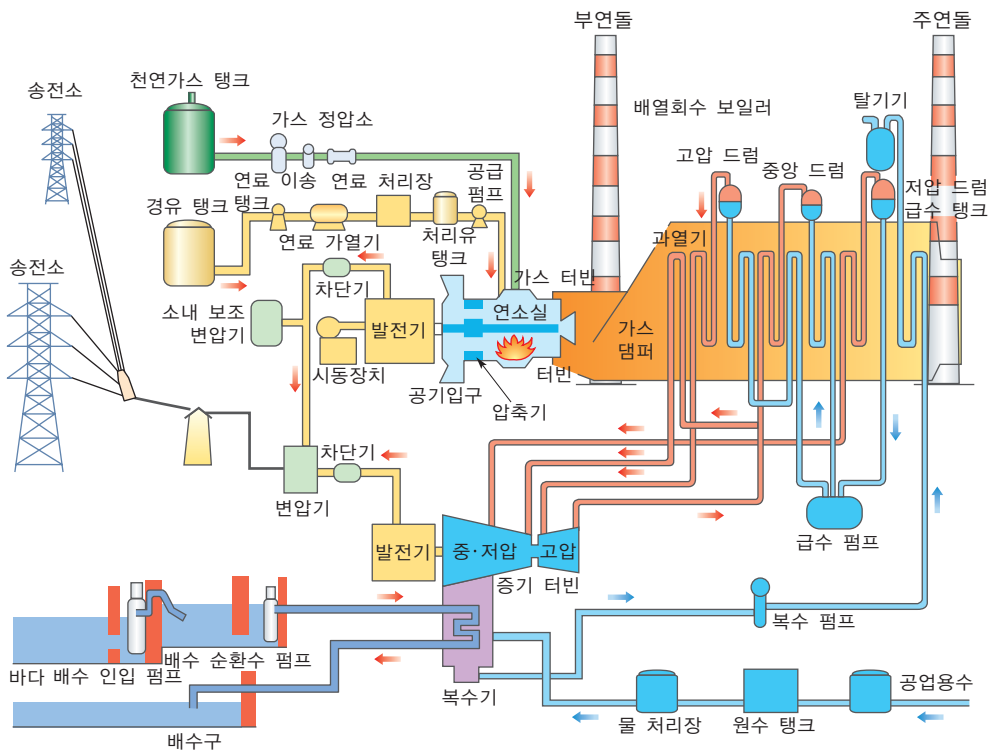



그림 Ⅰ-23 복합 화력 발전

웹사이트에서 자료 찾기

- http://www.kepco.co.kr (한국전력공사)
- http://www.khnp.co.kr (한국수력원자력)
- http://www.kopec.co.kr (한국전력기술)
- http://www.electricity.or.kr (대한전기협회)
- http://www.keca.or.kr (한국전기공사협회)

단원 학습 정리

1 **화력 발전** : 석탄, 석유, 가스 등이 가지고 있는 1차 에너지를 보일러 장치에서 열에너지로 바꾸고, 이것을 터빈에서 기계적 에너지로 바꾼 다음 발전기를 통하여 전기 에너지로 변환하는 것이다.

2 **화력 발전의 종류** : 기력 발전, 내연력 발전, 가스 터빈 발전, 복합 화력 발전

3 **기력 발전소의 구성** : 연료 계통, 연소 계통, 증기 계통, 복수, 급수 계통, 순환수 계통, 전기 계통, 재처리 계통

4 **증기의 성질과 열 사이클**

(1) 물과 증기
① 끓는점 : 물이 비등하여 증기로 변하는 온도
② 액체열 : 열량이 주어지면 바로 온도 변화를 나타내는 열량
③ 증발열 : 열량이 주어져도 온도 변화가 나타나지 않고 내부에 축적되는 열량
④ 건조 포화 증기 : 완전히 증기로 된 상태
⑤ 물의 임계 압력은 225.65〔kg/cm^2〕이고, 임계 온도는 374.15〔℃〕
⑥ 과열 증기 : 건조 증기를 다시 가열하게 되면 열량에 비례하여 온도가 상승한다. 이와 같이 포화 온도를 넘는 증기를 과열 증기라 한다.
⑦ 엔탈피 : 어떤 물질이 가지고 있는 전 열량, 즉 액체열과 증발열의 합
⑧ 엔트로피 : 어떤 온도 T〔K〕에서 증기 또는 물에 열량 i〔kcal〕를 가했을 때 $\frac{i}{T}$〔kcal/K〕를 엔트로피의 증가라고 한다.

(2) 기체의 성질과 상태의 변화
① 보일–샤를의 법칙 : 기체의 압력과 온도와 부피의 관계를 나타낸 법칙
② 기체의 상태 변화 : 등압 변화, 등적 변화, 등온 변화, 단열 변화

(3) 열 사이클
① 랭킨 사이클 : 기력 발전소의 열 사이클 중에서 가장 기본적인 것
② 재생 사이클 : 터빈의 중도에서 증기를 뽑아내어(추기), 이 증기로 급수를 예열하는 것
③ 재열 사이클 : 터빈에서 팽창된 증기가 포화 상태에 가까워졌을 때 이를 보일러에 되돌려 보내 다시 가열하여 터빈으로 보내서 일을 시키는 것
④ 재생 재열 사이클 : 재열과 재생 사이클을 조합하여 병용하는 방식

5 연료와 연소

(1) 연료 : 발전에 필요한 열량을 발생시킬 수 있는 원료로서 석탄, 석유, 액화 천연가스, 원자력 등이 있다.
(2) 연소 : 물질(석탄, 중유에서는 탄소분)이 공기 중의 산소와 화합하여 열을 발생하는 것이다.

6 보일러

(1) 보일러 : 연료의 연소열을 이용하여 물을 일정한 온도와 압력을 가진 증기로 변환시키는 설비를 말하며, 원통 보일러와 수관 보일러가 있다.
(2) 보일러의 구성 : 연료를 연소시키는 노와 증기의 밀폐 용기인 보일러 본체로 구성되며, 이 밖에 과열기, 절탄기, 공기 예열기 등의 부속 설비로 되어 있다.

7 증기 터빈

(1) 증기 터빈 : 고온, 고압의 증기가 가진 열에너지를 운동 에너지로 바꾸어, 이것을 기계적 일로 변환시키는 원동기이다.
(2) 증기 터빈의 분류
① 증기의 작용에 따른 분류 : 충동 터빈, 반동 터빈, 혼식 터빈
② 증기 통로 방향에 따른 분류 : 축류 터빈, 반경류 터빈
③ 차실과 축 차수에 따른 분류 : 단실 터빈, 다실 터빈
(3) 증기 터빈의 구조 : 터빈 차실, 다이어프램, 노즐, 날개, 누설 방지 장치 등이 있다.
(4) 증기 터빈의 조속 장치 : 부하가 변하여도 공급 증기량과 그 압력을 조절하여 회전 속도를 일정하게 유지할 수 있게 하는 것이다.
(5) 복수 장치 : 증기 터빈에서 배기되는 증기를 용기 내부로 도입하여 물로 냉각시키면, 증기는 응결하고 용기 내부는 진공이 되므로 공기를 저압까지 팽창시킬 수 있다. 이렇게 하여 열 낙차를 증가시키고, 증기 터빈의 열효율을 높이는 장치이다.

8 발전기

증기 터빈에 의하여 발생된 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 기계가 발전기이다. 발전기는 증기 터빈 축에 직결되어 운전되기 때문에 터빈 발전기라고도 한다.

9 기력 발전소의 효율

보일러 효율과 터빈 효율을 합한 전체의 효율을 발전소 효율이라고 하며, 발전소 열효율 η는 $\eta=\dfrac{860W}{mH}\times100$〔%〕이다.

(여기서, η : 발전소의 열효율, W : 어떤 기간에 발생한 총 전력량 〔kWh〕, m : 같은 기간에 소비된 연료량 〔kg〕, H : 연료의 발열량 〔kcal/kg〕)

10 내연력 발전

내연 기관 안에서 직접 연료를 연소시킨 동력으로 발전기를 구동시켜 발전한다. 내연 기관은 쓰는 연료에 따라 가스 기관, 가솔린 기관, 석유 기관, 디젤 기관이 있다. 또한 연료를 연소시켜 생기는 가스의 힘으로 직접 가스 터빈을 돌려 터빈에 이어진 발전기를 돌려 발전하는 가스 터빈 발전 방식이 있다.

(1) 디젤 발전 방식 : 디젤 기관은 실린더 내에서 공기만을 높은 압축비로 압축하여 고온, 고압이 되었을 때, 여기에 연료를 분사시키면 특별한 점화 장치가 없어도 연소, 팽창에 의하여 피스톤을 움직일 수 있다. 이 왕복 운동을 크랭크축에 의하여 회전 운동으로 변환시켜 동력을 얻는 장치이다.

(2) 가스 터빈 발전 방식 : 내연 기관의 한 종류로, 기관 내부에서 연료를 연소시켜, 이때 팽창한 열가스를 증기 터빈과 같이 날개차에 작용시켜 가스가 가지고 있는 열에너지를 회전 에너지로 변환하는 열기관이다.